



Wuppertal Institut
für Klima, Umwelt, Energie
GmbH

Hermann E. Ott
Caspar Richter

Anpassung an den Klimawandel – Risiken und Chancen für deutsche Unternehmen

**Kurzanalyse für das Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz und Reaktor-
sicherheit im Rahmen des Projekts
„Wirtschaftliche Chancen der inter-
nationalen Klimapolitik“ (FKZ 90511504)**

Nr. 171 • Januar 2008
ISSN 0949-5266

Wuppertal Papers

Herausgeber:

Wuppertal Institut
für Klima, Umwelt, Energie GmbH

Döppersberg 19
42103 Wuppertal

Autoren:

Hermann E. Ott
Büro Berlin
Hackesche Höfe
Rosenthaler Straße 40/41
10178 Berlin
hermann.ott@wupperinst.org

Caspar Richter
c/o Seeling
Mainzerstr. 18
12053 Berlin
caspar.richter@gmail.com

„Wuppertal Papers“ sind Diskussionspapiere. Sie sollen Interessenten frühzeitig mit bestimmten Aspekten der Arbeit des Instituts vertraut machen und zu kritischer Diskussion einladen. Das Wuppertal Institut achtet auf ihre wissenschaftliche Qualität, identifiziert sich aber nicht notwendigerweise mit ihrem Inhalt.

“Wuppertal Papers” are discussion papers. Their purpose is to introduce, at an early stage, certain aspects of the Wuppertal Institute’s work to interested parties and to initiate critical discussions. The Wuppertal Institute considers its scientific quality as important, however, it does not essentially identify itself with the content.

Inhalt

Einleitung	5
1 Anpassung an den Klimawandel	7
1.1 Klimawandel, Schäden und Anpassung	7
1.2 Das Problem der rechtzeitigen Anpassung	9
2 Kosten des Klimawandels	11
2.1 Schäden: Die globalen Kosten	11
2.2 Anpassung: Die globalen Kosten	12
3 Klimasensible Bereiche	14
3.1 Klimasensible Wirtschaftsfaktoren und Wirtschaftssektoren	14
3.2 Andere klimasensible Bereiche	16
4 Anpassungsmaßnahmen und Chancen	18
4.1 Anpassungsmöglichkeiten und Unternehmen	18
4.2 Heutige Nachfrage nach Anpassungsmaßnahmen	21
Schlussfolgerungen	23
Literatur	24

Kurzbeschreibung

Dieses Wuppertal Paper richtet sich an die interessierte Öffentlichkeit sowie an Produzenten und Dienstleister, die zur Anpassung an den Klimawandel beitragen können. Es gibt zunächst einen Überblick zur Problematik des Klimawandels und über die voraussichtlichen Schäden bzw. die Kosten der Anpassung. Die Autoren beschreiben sodann die Auswirkungen auf klimasensible Wirtschaftsbereiche und skizzieren schließlich die Chancen, die sich für die Unternehmen aus der zukünftig notwendigen Anpassung in vielen vom Klimawandel betroffenen Bereichen bieten. Fazit: Der Erfolg bei der Anpassung der bestehenden Produkte sowie bei der Gestaltung neuer Produkte an den Klimawandel wird auch maßgeblich über die künftigen Marktchancen von vielen Unternehmen in Deutschland und darüber hinaus entscheiden.

This Wuppertal Paper is intended to serve the general public as well as those businesses producing goods or services that could support adaptation to climate change. It first provides an overview of climate change and the estimated damages and costs for adaptation. The authors then describe the impacts of climate change on sensitive sectors of the economy and finally sketch the opportunities for business in helping to meet this challenge. They conclude that the success in adapting existing products to the climate challenge and to design new products appropriately will determine to a large extent the future success of many companies in Germany and beyond.

Danksagung

Die Autoren danken dem Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit für die Förderung und Michael Kracht für die inhaltliche Betreuung. Dank gebührt ferner Clemens Haße (UBA) und Petra Voßebürger (iku) sowie Florian Mersmann, Jochen Luhmann, Stefan Lechtenböhmer, Stefan Thomas und Anja Scholten (WI) für die Begutachtung früherer Entwürfe. Alle noch vorhandenen Fehler und Auslassungen liegen im Verantwortungsbereich der Autoren. Korrespondenzadresse: hermann.ott@wupperinst.org.

Einleitung

Der globale Klimawandel ist heute bereits Realität. Seine ökonomische Relevanz wird in Zukunft weiter zunehmen (Stern, 2006). Vor allem stärkere und häufigere Wetterextreme, aber auch veränderte klimatische Mittelwerte, erhöhen das Schadensrisiko und die realen Verluste an ökonomischen, gesellschaftlichen und ökologischen Werten. Diesem Problem wird auf zweierlei Weise begegnet. Zum einen wird versucht, das Ausmaß des zukünftigen Klimawandels durch die Vermeidung und Minderung (*mitigation*) klimaverändernder Emissionen zu begrenzen. Dies ist das Rational hinter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen UNFCCC, dem Kyoto-Protokoll (Oberthür & Ott, 2000) und anderen Anstrengungen zur Ursachenbekämpfung des Klimawandels.

Zum andern kann durch Anpassung (*adaptation*) die Schadensanfälligkeit (*vulnerability*) ökonomischer, gesellschaftlicher und ökologischer Systeme vermindert werden. Anpassung an den Klimawandel kann zum Beispiel durch die Einführung neuer Managementmethoden geschehen, aber auch durch technologische oder bauliche Maßnahmen. Solche Anpassung ist heute aufgrund der um ca. 30 Jahre verzögerten Reaktionszeit des Klimasystems unumgänglich. Denn selbst im Fall drastischer Emissionsminderungen wird eine Veränderung des Klimas stattfinden. Angesichts der noch recht schleppenden Vermeidungsbemühungen und des stetigen Wachstums exponierter Werte, sind die zu erwartenden Schäden umso höher einzuschätzen.

Anpassung ist daher ein immer wichtiger werdender Handlungsauftrag für all jene gesellschaftlichen Akteure und Institutionen, die klimasensitive Werte managen. Schon immer ist Klimaresistenz Kalkül von Investitions- und Konsumententscheidungen gewesen; allerdings basierten diese bisher auf historischen Klimawerten. Da sich das Klima in Zukunft weiter verändern wird, bieten historische Werte eine immer weniger verlässliche Grundlage für das Feststellen des ökonomisch, gesellschaftlich oder ökologisch notwendigen Schutzes vor Klimawirkungen. Kosten-Nutzen-Abwägungen bei Investitions- und Konsumententscheidungen müssen daher dem Klimawandel Rechnung tragen.

Das bedeutet in Zukunft vor allem eins: Der Schutz vor Klima- und Wetterauswirkungen wird mehr Ressourcen beanspruchen als bisher. Aufgrund stärkerer Klimawirkungen wird der für Klimaresistenz aufgewendete Anteil von Investitions- und Konsumausgaben von Unternehmen, Privathaushalten und Staat steigen müssen. Für viele gesellschaftliche Akteure bedeutet Anpassung an den Klimawandel also eine Zunahme von Kosten. Allerdings ergeben sich vielfältige Chancen für Unternehmen, welche den Anpassungsprozess unterstützen können. Diese werden von der Nachfrage nach Anpassungsmaßnahmen durch Haushalte, Unternehmen und den Staat profitieren.

Zu diesen Unternehmen gehören Dienstleister, die Informationen und Beratung (z.B. für die Anpassung an Wettergefahren) anbieten; Forschungsunternehmen, die neue Verfahren und Produkte (z.B. für die Anpassung in der Landwirtschaft) entwickeln; oder Unternehmen, die bauliche und technologische Anpassungsmaßnahmen (z.B. durch den Bau von Schutzanlagen) erbringen können. Die vorliegende Analyse gibt vor allem einen einführenden Überblick über die erwarteten Chancen für letztere Unternehmen, welche die Nachfrage nach *technologischen und baulichen Anpassungsmaßnahmen* bedienen können.

Die in dieser Arbeit gewählte Perspektive ist in der Diskussion über Chancen, die sich in der Reaktion auf den Klimawandel bieten, weitgehend unberücksichtigt geblieben. Bisher werden vor allem Chancen von Unternehmen bei der Bekämpfung des Klimawandels betont, d.h. bei der *Vermeidung* von Treibhausgasen. Diese Perspektive ist die klimapolitisch wichtigere, da die Erfolge in der Bekämpfung des Klimawandels darauf beruhen werden ob es rechtzeitig gelingt, Gesellschaft und Wirtschaft weltweit auf einen nicht-fossilen und nachhaltigen Pfad zu setzen. Dass dies zu Kosten möglich ist, die nur einen Bruchteil der zu erwartenden Schäden ausmachen, hat der Ende letzten Jahres veröffentlichte Bericht im Auftrag der britischen Regierung, der sog. „Stern Report“, nachgewiesen (Stern, 2006).

Auch in der Diskussion über Chancen durch *Anpassung* ist die hier gewählte Perspektive neu. Bisher werden entweder solche Chancen diskutiert, die sich durch günstigere klimatische Bedingungen ergeben (z.B. in der Landwirtschaft), oder solche, die aus Wettbewerbsvorteilen durch frühzeitige eigene Anpassung des Unternehmens resultieren (*climate-proofing*). Hier hingegen wird die Frage gestellt, für welche Unternehmen die Anpassung privater und öffentlicher Akteure ein Geschäftsfeld darstellen kann. Diese Betrachtung wird angesichts des immer größeren gesellschaftlichen Bewusstseins für die Risiken des Klimawandels und der zu erwartenden Nachfrage nach Anpassungsmaßnahmen immer interessanter.

Um die möglichen neuen Geschäftsfelder zu skizzieren, erläutert Abschnitt I dieses Papiers zunächst die zentralen Begriffe im Zusammenhang von Klimawandel und Anpassung und behandelt außerdem das Problem der rechtzeitigen Anpassung an den Klimawandel. Abschnitt II gibt eine Übersicht über die Höhe heutiger und zukünftiger Schäden durch Klimawirkungen, sowie die Größenordnung der in Zukunft notwendigen Anpassungsmaßnahmen. Abschnitt III betrachtet die wirtschaftlichen, gesellschaftlichen und ökologischen Bereiche, welche vom Klimawandel stark betroffen sind oder sein werden, und in denen eine Nachfrage nach Anpassungsmaßnahmen entstehen wird. Schließlich führt Abschnitt IV beispielhaft auf, welche baulichen und technologischen Anpassungsmaßnahmen in den klimasensiblen Bereichen möglich sind und welche Unternehmen diese erstellen können. Außerdem werden Beispiele bereits heute nachgefragter Anpassungsmaßnahmen gegeben.

1 Anpassung an den Klimawandel

1.1 Klimawandel, Schäden und Anpassung

Der Klimawandel äußert sich in drei Phänomenen: Veränderung langfristiger atmosphärischer Mittelwerte, Verstärkung der Klimavariabilität und Zunahme von Wetterextremen. Ökonomisches, gesellschaftliches und ökologisches Kapital stehen dadurch unter dem Druck sich andauernd verändernder atmosphärischer Einflüsse. Deren zunehmende Intensität ist einer der Gründe, warum in den letzten Jahrzehnten versicherte und volkswirtschaftliche Schäden erheblich gestiegen sind (Münchener Rück, 2006, S. 12–17, siehe Abschnitt II). Auch eine Zunahme der Häufigkeit von Extremereignissen ist festzustellen, wenn diese auch bisher noch nicht statistisch signifikant ist (Stock, 2003, S. 7). Durch die sich verändernden Klimabedingungen entsteht also bereits heute ein Anpassungsdruck, welcher in Zukunft immer höhere Anforderungen an privates und öffentliches Management stellen wird.

Um die Bandbreite dieser Anforderungen darzustellen und Anpassungsmöglichkeiten zu analysieren können Klimaschäden nach verschiedenen Gesichtspunkten klassifiziert werden. Zum einen können sie nach Art der *verursachenden Klimawirkung* zusammengefasst werden. Verursacher von Schäden sind Wind, Temperatur und Wasser. Diese können in Extremwetterlagen Schäden an ökonomischen, gesellschaftlichen und ökologischen Werten verursachen, z.B. als Stürme, Hitze- oder Kälteextreme, Niederschläge und Überschwemmungen. Im langfristigen Mittel können sie regionale Wind-, Wasser- und Temperaturbedingungen so verändern, dass klimasensible Systeme stark belastet werden oder sogar zusammenbrechen. Die Veränderung des Klimas kann zudem eine Reihe indirekter Folgen haben, wie das erhöhte Risiko von Erdbeben, die zunehmende Verbreitung von Krankheitserregern, etc.

Zum ändern können Klimaschäden nach den durch sie betroffenen *klimasensiblen Bereichen* geordnet werden. So werden in ökonomischen Betrachtungen des Klimawandels neben den Schäden in den betroffenen Wirtschaftssektoren (z.B. Landwirtschaft, Energiewirtschaft) und an Wirtschaftsfaktoren (z.B. Vermögensgegenstände, Produktivität) auch Schäden in anderen Kategorien wie geographischen Einheiten (Küsten- und Flussregionen, Ballungsgebiete), ökologischen Parametern (Biodiversität, Wasserqualität) und Wohlfahrtsindikatoren (Gesundheit, Lebensdauer) zusammengefasst. Anhand dieser Kategorien werden in Abschnitt III die konkreten Risiken und Schäden und die Notwendigkeit zur Anpassung deutlich gemacht.

Klimaschäden und -risiken können durch Anpassung verhindert oder gemindert werden. Das Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), wissenschaftliches Gremium der UN Klimakonvention (UNFCCC), definiert Anpassung (adaptation) wie folgt: „*Adaptation* bedeutet Anpassung ökologischer, sozialer oder ökonomischer Systeme an bestehende oder erwartete Klimastimuli und deren Auswirkungen und Einfluss. Der Begriff bezieht sich auf Veränderungen in Prozessen, Handlungsroutinen oder Strukturen, welche mögliche Schäden mindern und durch den Klimawandel entstehende Vorteile nutzen.“

Anpassung kann auf verschiedene Arten stattfinden. Sie kann nachsorgend (reaktiv) oder vorsorgend (proaktiv) durchgeführt werden. Sie kann zudem bestehen in

- a) der Hinnahme von Schäden,
- b) der Verteilung von Schäden,
- c) der Verhinderung von Schäden,
- d) der Minderung der Bedrohung,
- e) der modifizierte Verwendung, bis hin zur
- f) Standortaufgabe (IPCC, 2001, S. 88, 881–883).

Durch Anpassung im Sinne von b) haben sich für die Versicherungswirtschaft bereits interessante Geschäftsfelder eröffnet. Anpassung im Sinne von c), d) und e) kann durch bauliche und technologische Anpassungsmaßnahmen erreicht werden. Die Nachfrage nach derartigen Maßnahmen wiederum stellt eine Chance für verschiedene Unternehmen dar (Beuermann et al., 2000, S. 5, 6). Diese Chancen werden in Abschnitt IV spezifiziert.

Nach der ökonomischen Theorie sind Anpassungsmaßnahmen sinnvoll bis zur Gleichheit der marginalen Anpassungs- und Schadenskosten (d.h. bei Gleichheit von Grenznutzen und Grenzkosten). Zur Kosten-Nutzen Optimierung sollten Anpassungsinvestitionen demnach bis zur Höhe des abgezinsten Zukunftsschadenswerts getätigt werden (Scheraga, 1998). Daraus ergibt sich die Schlussfolgerung, dass sich desto mehr Schäden vermeiden lassen, je effektiver eine Anpassungsmaßnahme ist; ebenso dürften Absatzmöglichkeiten für Unternehmen umso größer sein, je effizienter die angebotene Anpassungsmaßnahme ist (Adger et al., 2005, S. 82). Die Entwicklung effizienter Anpassungsmaßnahmen ist daher für Wirtschaft und Gesellschaft eine wichtige Aufgabe (Easterling et al., 2004, S. 20; BMBF, 2004). Zudem sind proaktive, d.h. vorzeitig getroffene Anpassungsmaßnahmen, in vielen Fällen wirtschaftlich rational. Sie senken Schäden oft am effizientesten, da sie irreparable Schäden vermeiden und Schäden an langlebigen Gütern verhindern (Firth et al., 2005, S. 44; Grothmann, 2005, S. 67).

1.2 Das Problem der rechtzeitigen Anpassung

Der einfachen ökonomischen Theorie steht jedoch eine ungleich komplexere wirtschaftliche Praxis gegenüber. Hier werden Entscheidungen, Anpassungsmaßnahmen rechtzeitig nachzufragen und durchzuführen, d.h. sich optimal an den Klimawandel anzupassen, von mehreren Faktoren beschränkt. Anpassung wird zum einen durch Marktversagen (*Unsicherheit, beschränkter Zeithorizont, mangelndes Bewusstsein*), zum anderen durch für einige Akteure zu hohe Opportunitätskosten gehemmt. Diese Hemmnisse können der Grund für Fehlanpassung (*maladaptation*) von Akteuren sein, d.h. zu einer Über- oder Unteranpassung führen. Sie hemmen vor allem vorzeitige Anpassung, d.h. ein Handeln, bevor zu großer Schadensdruck entsteht.

Unsicherheit. Das Wissen über zukünftiges Klima und das Klimarisiko basiert auf der Modellierung dynamischer, nicht-linearer Prozesse. Die verwendeten Modelle arbeiten mit einer Vielzahl von Variablen, deren zukünftiger Verlauf unsicher ist. Daher sind die mit ihrer Hilfe getroffenen Aussagen über die Klimaentwicklungen lediglich mögliche Szenarien und nicht etwa genaue Prognosen. Oft werden diesen Szenarien zudem keine Wahrscheinlichkeiten zugeordnet (HL, 2005, S. 27). Die zur Verfügung stehenden Informationen über die konkreten (regionalen) Risiken, denen Akteure ausgesetzt sind, reichen daher oft nicht aus für eine verlässliche Einschätzung der zukünftigen Schadensentwicklung. Dies macht es für Nachfrager von Anpassungsmaßnahmen schwer, ihre optimale Anpassungsnachfrage abzuschätzen. Es besteht daher die Gefahr einer Über- oder Unteranpassung (Gagnon-Lebrun, 2006, S. 36, 43; Stern, 2006, S. 411).

Zeithorizont. Eine weitere Barriere für proaktive Anpassung ist der oft kurze Zeithorizont unternehmerischen, aber auch staatlichen Handelns. Langfristige Investitionsentscheidungen zur Anpassung an Klimafolgen werden aufgrund kurzfristiger Geschäftsausrichtung und Renditeerwartungen nicht berücksichtigt, obwohl sie möglicherweise am effizientesten sind (IPCC, 2001, S.811, 889, 890; Beuermann et al., 2000, S. 16). Da die Amortisierung von Anpassungsinvestitionen (durch verhinderte Schäden) zumeist jenseits des Planungshorizonts liegt, vollzieht sich folgerichtig Anpassung eher ad hoc als proaktiv, also erst, wenn der Schadensdruck bereits sehr hoch wird (Tompkins et al., 2005, S. 93; Smith, 2003). Dies ist für Akteure, die nur über relativ schnell abgeschriebene Vermögenswerte verfügen, möglicherweise wirtschaftlich rational. Für Akteure mit langfristig gebundenem Kapital und langen Abschreibungszeiträumen hingegen kann Kurzsichtigkeit wirtschaftlich schwerwiegende Folgen haben (Berkhout, 2003, p. 2 ff.; Adger et al., 2005, S. 82).

Bewusstsein. Mangelndes Bewusstsein für Veränderungen des Klimas und die Exponiertheit von Werten ist ein weiterer Grund für die fehlende Auseinandersetzung mit dem Problem rechtzeitiger Anpassung. Mehrere Studien belegen, dass vor allem für Privathaushalte und Unternehmen, welche wichtige potentielle Nachfrager von Anpassungsmaßnahmen sind, der Klimawandel noch kein Entscheidungskriterium ist.

Dies ist unter anderem auf fehlende Informiertheit der Entscheidungsträger zurückzuführen, welche sowohl die richtige Einschätzung der Klimaveränderungen als auch das Ergreifen adäquater Maßnahmen verhindert (Berkhout et al., 2004, S. 2; Grothmann, 2005).

Opportunitätskosten. Neben den hier skizzierten Unvollkommenheiten des Marktes besteht ein weiteres grundsätzliches Problem für private Akteure, aber auch für staatliche Institutionen, in den Entwicklungsländern. Erstere sind oft verschiedenen finanziellen Beschränkungen durch Markt und Staat unterworfen, letztere verfügen aufgrund wirtschaftlich schwacher Entwicklung nur über geringe Ressourcen zur Anpassung. Gerade proaktive Anpassung bindet knappe Ressourcen, welche für die Erreichung anderer, kurzfristiger Ziele benötigt werden.

Daher ist von Seiten privater Akteure und Entwicklungsländer in Zukunft eher ad hoc oder reaktive Anpassung zu erwarten (Scheraga, 1998, S. 91). Auch hier kommt es daher in Fällen, bei denen proaktive Anpassung optimal wäre, zu einer Unteranpassung, zudem können bereits aufgetretene Schäden nicht mit eigenen Mitteln behoben werden.

Grundsätzlich werden sich alle gesellschaftlichen Akteure anpassen müssen, Privathaushalte ebenso wie Unternehmen und öffentliche Institutionen. Aufgrund der oben erläuterten Hemmnisse, vor allem gegenüber vorzeitiger Anpassung privater Akteure, ist die Nachfrage nach frühzeitigen und vorsorgenden Maßnahmen bisher jedoch ungleich verteilt, und wird es zumindest mittelfristig bleiben. Der Staat wird zunächst einen Großteil der Anpassung leisten müssen. Nur so können voraussichtlich einer volkswirtschaftlich suboptimalen Anpassung vorgebeugt und die Folgen des Klimawandels gesellschaftlich verträglich gestaltet werden (Ott, 2007 1, S. 20).

Staatliche Institutionen werden dies beispielsweise durch Unterstützung bei Anpassungsmaßnahmen und durch die Bereitstellung öffentlicher Güter erreichen. Zudem können staatliche Institutionen über ordnungspolitische Instrumente und Informationsdienstleistungen Impulse zur frühzeitigen Anpassung geben und so korrigierend auf den Markt einwirken. Diese Strategie wird in vielen OECD-Staaten bereits heute verfolgt, was die staatliche Nachfrage nach Anpassungsmaßnahmen bereits erhöht (Firth et al., 2005, S. 44; Stern, 2006, S. 416). Um das Fehlen staatlicher Maßnahmen zu kompensieren, werden Internationale Organisationen zudem in Entwicklungsländern Ressourcen zur Verfügung stellen. Diese ungleiche Verteilung der Nachfrage nach proaktiver Anpassung wird durch eine kurze Betrachtung bisher durchgeführter konkreter Anpassungsmaßnahmen in Abschnitt IV verdeutlicht.

2 Kosten des Klimawandels

Dieser Abschnitt gibt eine Übersicht über die globalen Kosten des Klimawandels. Die Kosten des Klimawandels können nach ihren Verursachern in zwei Kategorien eingeteilt werden: zum einen können sie durch Schäden in klimasensiblen Bereichen entstehen, zum andern durch Anpassung an den Klimawandel. Zwischen den beiden Kostenkategorien besteht ein *trade-off*, d.h. das Hinnehmen von Anpassungskosten erspart Teile der Schadenskosten und umgekehrt. Dabei ist jedoch die Durchführung von Anpassungsmaßnahmen in vielen Fällen günstiger als das Hinnehmen von Schäden (Gambarelli und Gorla, 2004, S. 7, 10). Die bereits heute durch Klimawirkungen verursachten Schäden und ihre in Zukunft zu erwartende Entwicklung vermitteln ein Bild von der Größenordnung der volkswirtschaftlichen Klimasensibilität und lassen die Größenordnung der Nachfrage nach Anpassungsmaßnahmen erahnen.

2.1 Schäden: Die globalen Kosten

Grundsätzlich gelten fünf bis zehn Prozent des Bruttoinlandsprodukts (BIP) der entwickelten Länder als unmittelbar klimasensibel (Stock, 2003, S. 7). Allerdings ist ein weitaus größerer Teil dieser Ökonomien indirekt abhängig von Klimaverhältnissen (BMBF, 2004, S. 19). Die Höhe des Schadensrisikos ist dabei abhängig vom betroffenen Bereich und der Art der Klimaveränderung, Geschwindigkeit, Intensität, etc. (Easterling et al., 2004, S. 16 ff.). Schäden durch Klimawirkungen entstehen heute vor allem durch Stürme, Überschwemmungen und Hitzewellen (Stern, 2006, S. 415).

Die größten volkswirtschaftlichen Kosten fallen heute durch extreme Windverhältnisse an, gefolgt von Hochwasserereignissen und Temperaturextremen. Zwischen 1980 und 2003 sind auf atmosphärische Verursacher 77 Prozent der volkswirtschaftlichen Schäden durch Naturkatastrophen zurückzuführen, deren Schadenswert nach Schätzungen der Münchener Rück bei US\$ 1300 Milliarden lag (Berz, 2004, S. 100, 101). Die Schäden durch Naturkatastrophen erreichten im Jahr 2005 eine neue Höchstmarke von über US\$ 210 Milliarden, oder 0,5 Prozent des Welt-BIP (Münchener Rück, 2006, S. 8, 9). Die Gesamtschäden dürften allerdings noch darüber liegen, berechnet man beispielsweise die langfristigen wirtschaftlichen Nachwirkungen und kleinere Schadenereignisse mit (Ackermann und Stanton, 2006, S. iv; UNEP FI, 2006, S. 14).

In den letzten Jahrzehnten ist eine stetige Zunahme der Kosten durch Klimaschäden zu verzeichnen. Dies lässt sich zum Teil auf die langfristig steigenden globalen Temperaturen zurückführen (Berz, 2004, S. 99–101). Seit den 1970er Jahren ist ein

Trend zur Sturmszunahme zu beobachten (Firth et al., 2005, p. 24). Auch die Wahrscheinlichkeit anderer Extremereignisse ist gestiegen, z.B. für Extremniederschläge oder Hitzesommer (Zebisch et al., 2005, S. 35–37, 49). So sind im Zuge dieser Veränderungen die Kosten aus Extremwetterereignissen seit den 1970er Jahren um zwei Prozent jährlich gestiegen (Stern, 2006, S. 131). Die Zunahme der Wahrscheinlichkeit solcher Ereignisse setzt ökonomische, gesellschaftliche und ökologische Werte folglich einem erhöhten Risiko aus.

Berechnungen zukünftiger Klimabedingungen deuten auf eine immer rapidere Zunahme von Klimaschäden hin. Zwar sind Aussagen über zukünftige Klimarisiken mit Unsicherheit behaftet (siehe Abschnitt I), doch zeigen sie zum überwiegenden Teil einen Trend in Richtung steigender Kosten. So kommt es in Zukunft nicht nur zu weiter steigenden Schäden durch Stürme, Überschwemmungen, oder Hitze- und Kältewellen; auch die Veränderungen im langfristigen Mittel werden immer stärkeren Schadensdruck auf klimasensible Bereiche ausüben.

Verschiedenen Szenarien zufolge liegen am Ende des 21. Jahrhunderts die volkswirtschaftlichen Belastungen um den Faktor 100 höher als im Jahre 2005 bei US\$ 20–26 Billionen (zu heutigen Preisen). Neuesten Szenarien zufolge haben die abgezinsten zukünftigen Schäden eine Größenordnung von fünf bis zwanzig Prozent des heutigen jährlichen Welt-BIP, und somit in Zukunft katastrophale wirtschaftliche Auswirkungen (Ackerman und Stanton, 2006, S. 24, 25; Stern, 2006, S. 162, 163). Die Entwicklung der Schäden durch Klimawirkungen gilt allerdings als entscheidend abhängig von zwei beeinflussbaren Variablen, nämlich der Minderung der CO₂-Emission sowie dem Grad der Anpassung.

2.2 Anpassung: Die globalen Kosten

Wie in Abschnitt I beschrieben, müssen bei der Anpassung an den Klimawandel die Kosten für Maßnahmen gegen die Kosten der Schäden ohne Maßnahmen abgewogen werden. Anpassung kann dabei die Kosten des Klimawandels erheblich mindern (z.B. Stern, 2006, S. 434). Zudem liegen die Kosten frühzeitiger Anpassung oft unter denen reaktiver Anpassung, da sie Schäden an langlebigen Werten mindern und irreversible Schäden verhindern können. Der zur Anpassung notwendige Aufwand an Ressourcen kann allerdings mit zunehmendem Klimawandel so hoch werden, dass sich Schäden nicht mehr wirtschaftlich rational vermeiden lassen.

Für die globalen Kosten der Anpassung an den bisherigen Klimawandel liegen keine Zahlen vor. Dies liegt zum einen daran, dass aufgrund der in Abschnitt I erläuterten Hemmnisse proaktive Anpassung noch wenig verbreitete Praxis ist. Zudem werden viele Maßnahmen, die bereits heute den Grad der Anpassung erhöhen, nicht direkt als Reaktion auf den Klimawandel durchgeführt (Tompkins et al., 2005). Die Kategori-

sierung und statistische Messung von Anpassungsmaßnahmen gestaltet sich also als schwierig. Allerdings dürften die Aufwendungen für Anpassung an den bisherigen Klimawandel gering sein im Vergleich zur Nachfrage nach Anpassungsmaßnahmen in den nächsten Jahrzehnten (Stern, 2006, S. 418).

In Zukunft wird voraussichtlich ein erheblicher Mehraufwand an Ressourcen nötig sein, um gegen Klimawirkungen geschützt zu sein. Es liegen noch keine Schätzungen für die Gesamtkosten zukünftiger Anpassung vor, für einzelne Bereiche gibt es allerdings Zahlen. So betragen nach Schätzungen der Weltbank die Gesamtkosten der Anpassung in Entwicklungsländern zwischen US\$ 10–40 Milliarden pro Jahr (WB, 2006, S. 33). Neuste Schätzungen beziffern zudem allein die Kosten für das Anpassen von Gebäuden und Infrastruktur in den OECD Ländern zwischen US\$ 15–150 Milliarden jährlich (oder 0,05–0,5 Prozent des OECD-Bruttoinlandsprodukts). Diese Schätzungen stellen bis zu zehn Prozent des gesamten derzeit im Mittel in der OECD nachgefragten Bauvolumens für Infrastruktur und Gebäude dar (Stern, 2006, S. 417), und würden eine enorme Steigerung der Nachfrage nach Leistungen beispielsweise der Bauwirtschaft bedeuten.

Selbstverständlich ist die Kalkulation der zukünftigen Kosten des Klimawandels, sowohl der Schäden als auch der Anpassungsmaßnahmen, mit Unsicherheit behaftet. Wie in Abschnitt I erläutert sind Berechnungen zukünftiger Entwicklungen von einer Vielzahl von Variablen mit unbekanntem Verlauf abhängig, so z.B. den globalen Temperaturen, der Innovationen von Vermeidungs- und Anpassungstechnologien, etc. (Stern, 2006, S. 442). Weitaus sicherere Aussagen als über ihre Größenordnung können allerdings über die Art der Folgen für ökonomische, gesellschaftliche und ökologische Bereiche gemacht werden. Diese sind Gegenstand des folgenden Abschnitts.

3 Klimasensible Bereiche

Nachdem in Abschnitt II die globalen wirtschaftlichen Folgen des Klimawandels und der Anpassung betrachtet wurden, wird in diesem Abschnitt das Bild für einzelne Bereiche höher aufgelöst. Hierbei werden die in Abschnitt I skizzierten Kategorien klimasensibler Bereiche verwendet. Diese Abgrenzung soll nicht über die vielfältige Verflechtung der einzelnen Bereiche hinwegtäuschen. Sie ist aber sinnvoll, um systematisch aufzuzeigen, wo genau Anpassungsdruck entsteht und wie Anpassung in den jeweiligen Bereichen gestaltet werden kann (siehe dazu Abschnitt IV). Grundsätzlich gilt: Je klimasensibler ein Bereich, desto wichtiger wird die Anpassung an den Klimawandel für seine nachhaltige Entwicklung.

3.1 Klimasensible Wirtschaftsfaktoren und Wirtschaftssektoren

Eine Reihe von *Wirtschaftsfaktoren*, die für viele Bereiche der Ökonomie von Bedeutung sind, steht in direktem Bezug zu Wetter und Klima. Der Klimawandel wird sich, z.B. durch zunehmende Wetterextreme und steigende Temperaturen, voraussichtlich negativ auf diese Faktoren auswirken.

Sachvermögen und Infrastruktur. Ein wichtige Folge des Klimawandels, die Wirtschaftssektoren, Haushalte und staatliche Institutionen gleichermaßen betrifft, sind die zu erwartenden höheren Kosten für Sachvermögen. Langfristige Veränderungen und stärkere Intensität der atmosphärischen Verhältnisse setzen Vermögensgegenstände einer stärkeren Abnutzung aus. So werden Sturm- und Wasserschäden immer höhere Kosten verursachen, aber auch Temperaturextreme und deren Folgen wie Brand oder Bodenerosion werden zunehmen. Für wetterexponierte Gegenstände wie Infrastruktur, Gebäude, etc. sind daher in Zukunft höhere Abschreibungsraten notwendig. Zudem wird die Versicherung von Vermögensgegenständen zukünftig mehr Mittel beanspruchen, da die Schadenswahrscheinlichkeit zunimmt. Immer häufiger werden Versicherungsfälle durch Wetterschäden an Sachvermögen eintreten. Laut einer Schätzung kann ihr Anteil in Zukunft von derzeitig einem Viertel auf bis zur Hälfte aller Versicherungsfälle steigen (Firth und Colley, 2006, S. 19).

Versorgungssicherheit. Ein weiteres Problem, das viele private Akteure betreffen wird, ist die künftig zu erwartende Versorgungssicherheit. Zum einen kann das Angebot von elementaren wirtschaftlichen Inputs wie Wasser und Energie verstärkt Engpässen ausgesetzt sein, vor allem durch zunehmende Temperaturen (Firth und Colley, 2006, S. 23). Dies wird Auswirkungen auf die Preise, aber auch auf die generelle Verfügbar-

keit dieser Güter haben. Zum ändern kann das Risiko bei der *just-in-time* Logistik zunehmen, da Versorgungswege (*supply-chains*) für Rohstoffe und Fertigprodukte unter wachsendem Klimastress stehen, z.B. durch Extremwetterereignisse wie Stürme oder Überschwemmungen (BMBF, 2004, S. 21).

Produktivität. Ein vor allem von Extremtemperaturen in den Sommermonaten betroffener Wirtschaftsfaktor ist die Produktivität. Hohe Temperaturen lassen die Arbeitsproduktivität sinken, vor allem von solchem Personal, das im Freien oder in schlecht klimatisierten Gebäuden arbeitet. Aber auch die Produktivität von Maschinen und Anlagen kann durch hohe Temperaturen nachteilig beeinflusst werden (Firth und Colley, 2006, S. 6).

Der Zusammenhang zwischen Klima und Wirtschaftsaktivität ist in mehreren *Wirtschaftssektoren* unmittelbar. Hierzu zählen insbesondere die Land- und Forstwirtschaft sowie die Wasserwirtschaft. Gerade in den Entwicklungsländern ist die Betroffenheit dieser Sektoren kritisch, da sie einen relativ großen Teil zur gesamtwirtschaftlichen Leistung beitragen und eine umso höhere wohlfahrtliche Bedeutung haben (Gagnon-Lebrun, 2006, S. 32). Zudem betrifft der Klimawandel auch jene Wirtschaftssektoren direkt, welche volkswirtschaftliche Schlüsselfunktionen einnehmen. Hierzu zählen besonders die Energie- und Transportwirtschaft.

Landwirtschaft. Die Landwirtschaft gehört zu den Wirtschaftssektoren mit der offensichtlichsten Klimasensibilität. Sämtliche Schwankungen des Wetters und Veränderungen des Klimas sind unmittelbar spürbar in Erträgen und Verlusten. Besonders die Verfügbarkeit von Wasser kann in vielen, vor allem unterentwickelten Regionen zunehmend problematisch werden. Aber auch Extremereignisse wie Sturm oder Hagelschlag stellen die Landwirtschaft vor zunehmende Probleme (Zebisch et al., 2005, S. 71–82). Ebenso wirken sich Hitzeextreme negativ auf Ernteerträge und Tierhaltung aus (Firth et al., 2005, S. 80 ff.).

Forstwirtschaft. Auch die Forstwirtschaft ist ein sehr klimasensibler Sektor, umso mehr, da sie durch lange Planungszeiträume charakterisiert ist. Die Verfügbarkeit von Wasser wird auch hier das schwerwiegendste Problem werden, doch auch Sturmereignisse und Waldbrände sowie indirekte Klimawirkungen (z.B. die Verbreitung von Schädlingen) können in Zukunft zu hohen Schäden führen. Zudem werden die sich langfristig verändernden klimatischen Mittelwerte einen hohen Anpassungsdruck auf heimische Arten ausüben (Zebisch et al., 2005, S. 91–97).

Wasserwirtschaft. Für die Wasserwirtschaft sind vor allem sich verändernde Temperaturen und Wasserverfügbarkeit entscheidend. Durch geringere Sommerniederschläge und durch höhere Verdunstung kann es zur Verschärfung des Versorgungsproblems in vielen Regionen kommen, sowie zu einer langfristigen Veränderung des regionalen Wasserhaushalts (Zebisch et al., 2005, S. 47–57). Hiervon sind vor allem die südlichen und weniger entwickelten Regionen betroffen. Zudem wird das Management von

Extremniederschlägen für die Wasserwirtschaft relevant werden. Die bestehende Infrastruktur wie Kanalisation und Rückhaltebecken, ausgelegt auf Niederschlagsaufkommen der Vergangenheit, kann unzureichend sein für infolge des Klimawandels zunehmende Niederschläge.

Energiewirtschaft. Die Energiewirtschaft sieht sich ähnlichen Konsequenzen wie die Wasserwirtschaft ausgesetzt. Zum einen wird die Versorgung mit Wasser zur Kühlung von Kraftwerken in Zukunft weniger sicher sein, besonders in heißen und trockenen Sommern stehen dadurch oft nicht alle Kapazitäten zur Verfügung. Durch Wasser-niedrigstände kann zudem die Stromerzeugung in Hydrokraftwerken beeinträchtigt werden. Gleichzeitig kommt es an heißen Sommertagen jedoch zur Spitzennachfrage, da Unternehmen und Haushalte zunehmend Kühltechnik verwenden werden. Das häufigere Auftreten von anderen Extremereignissen wie Stürmen oder Blizzards kann zudem die Infrastruktur, vor allem Oberlandleitungen, stärkerer Abnutzung aussetzen (BMBF, 2004, S. 23).

Transportwirtschaft. Der Transportsektor ist aufgrund seiner Abhängigkeit von wetter-exponierter Infrastruktur und Sachvermögen sensibel, besonders für Wetterextreme. Die Befahrbarkeit von Transportwegen kann durch Wetterextreme beeinträchtigt werden, etwa von Wasserwegen bei Dürre oder Sturmereignissen, Straßen bei Erdbeben durch Starkniederschläge oder Schienen bei Hitzewellen. Zudem wird bei Extremtemperaturen die Beförderung von Personen und Gütern wegen Überhitzung von Fahrzeuginnenräumen erschwert (Firth und Colley, 2006, S. 15, 22; Zebisch et al., 2005, S. 150 ff.).

3.2 Andere klimasensible Bereiche

Geographische Einheiten. Fluss- und Küstenregionen sind klimasensible Regionen mit starker Konzentration von wirtschaftlichen Werten. Das zunehmende Auftreten von Hurrikannen ist für *Küstenregionen* ein erhebliches Risiko, was die steigenden Schäden der letzten Jahre in den USA belegen (Münchener Rück, 2006, S. 20). Zudem ist in Küstenregionen der Schutz vor Hochwasser notwendig, da mit einem erheblichen Anstieg des Meeresspiegels gerechnet wird. Dieser kann in einigen, vor allem in weniger entwickelten Ländern, katastrophale Schäden anrichten (Firth et al., 2005, S. 94). Auch in vielen *Flussregionen* erhöht sich das Risiko von Überschwemmungen, da aufgrund extremerer Niederschläge und Schmelzwasserspeisung höhere Flusspegel zu erwarten sind (Hornemann und Rechenberg, 2006). Weitere geographische Einheiten, die eine starke Konzentration von Werten aufweisen und sich verstärkter Klimawirkung ausgesetzt sehen, sind *Ballungsgebiete*. Hier verschlechtern sich vor allem durch höhere Sommertemperaturen Arbeits- und Lebensbedingungen (Zebisch et al., 2005, S. 165). Die starke Versiegelung städtischer Bereiche bringt zudem Probleme bei Extremniederschlägen mit sich, die zu Wasserschäden wegen fehlender Ableitungs-

kapazitäten führen können (Firth et al., 2005, S. 67, 90). Schließlich sehen sich *Gebirgsregionen* durch den Klimawandel verstärkt Risiken durch Lawinen, Felsstürzen und Muren ausgesetzt (PLANAT, 2006).

Ökologische Parameter. Der Zustand von Ökosystemen ist in vielerlei Hinsicht ökonomisch und gesellschaftlich relevant. So dienen Ökosysteme als Senke und Filter für Schadstoffe, als Rohstoffquellen und als Erholungsräume (Zebisch et al., 2005, S. 108 ff.). Der Klimawandel wirkt sich auf viele ökologische Parameter aus, und mindert häufig die Qualität von Ökosystemen. Ein solcher Parameter ist beispielsweise die *Biodiversität*. Viele Pflanzen- und Tierarten stehen unter zunehmendem Anpassungsdruck aufgrund der Verschiebung ihrer Habitate oder der generellen Verschlechterung von Standortbedingungen. Ein weiterer, auf viele andere Bereiche in Ökosystemen wirkender Parameter ist die *Wasserqualität*. Diese wird bei steigenden Temperaturen und häufigerer Trockenheit durch Nährstoffüberschüsse gemindert (Viner, 2006, S. 12 ff.).

Wohlfahrtsindikatoren. Vor allem Wasserverfügbarkeit und Temperaturen haben direkten und indirekten Einfluss auf Wohlfahrtsindikatoren wie *Gesundheit* und *Lebensdauer*. Die Bevölkerung in Entwicklungsländern ist dabei wegen geringerer Ressourcenausstattung zur Milderung von Klimafolgen stärker vom Klimawandel betroffen. Aber auch in entwickelten Ländern sind Auswirkungen wie die Verbreitung von neuen Krankheitserregern und höhere Sterberaten in Hitzesommern bereits bemerkbar und führen zu Anpassungsdruck. Der Hitzesommer 2003 beispielsweise kostete, aufgrund unzureichender Vorsorge, 52 000 Menschen in Europa das Leben (Larsen, 2006). Aber auch andere Faktoren mindern die Lebensqualität oder Wohlfahrt, wie z.B. zunehmende Extremereignisse, welche zu höherer *psychischer Belastung* von Betroffenen führen (Grothmann, 2005).

4 Anpassungsmaßnahmen und Chancen

In der Diskussion über Chancen durch Anpassung sind in der Literatur bisher zwei Perspektiven eingenommen worden. Zum einen werden die Chancen von Unternehmen untersucht, die durch die veränderten klimatischen Bedingungen direkt vom Klimawandel profitieren. Gängiges Beispiel sind Betriebe in der Landwirtschaft, die in Zukunft aufgrund günstigerer Witterungsverhältnisse zumindest kurzfristig höhere Erträge erzielen könnten (z.B. Zebisch et al., 2005, S.69). Zum andern werden Chancen betrachtet, die sich Unternehmen aus dem frühzeitigen *climate-proofing* ihrer Geschäftstätigkeit gegenüber Wettbewerbern bieten können, also der rechtzeitigen Einstellung auf den Klimawandel (z.B. Firth und Colley, 2006; Jorgenson et al., 2004). Diese Arbeit versucht hingegen die möglichen Geschäftsfelder und Chancen für Unternehmen aufzuzeigen, die sich aus privater und öffentlicher Nachfrage nach Anpassungsmaßnahmen ergeben.

Die in Abschnitt III behandelten Bereiche, in denen Anpassung notwendig wird, lassen das breite Spektrum der in Zukunft nachgefragten baulichen, technologischen und anderen Anpassungsmaßnahmen erahnen. Anpassung kann daher zu einem neuen Geschäftsfeld werden und für Unternehmen Chancen eröffnen. Zur Konkretisierung der Chancen wird in diesem letzten Abschnitt anhand von Beispielen verdeutlicht, welche technologischen und baulichen Anpassungsmöglichkeiten bestehen, und welche Unternehmen für die hier betrachteten klimasensitive Bereiche das *climate-proofing* leisten können. Anschließend werden Beispiele für bereits ergriffene oder geplante Projekte zur Anpassung an den Klimawandel dargestellt, die schon heute Geschäftsmöglichkeiten für Unternehmen bieten.

4.1 Anpassungsmöglichkeiten und Unternehmen

Technologische und bauliche Anpassung im Bereich *Wirtschaftsfaktoren* werden sich größtenteils durch die Ausweitung bereits bekannter Maßnahmen zum Schutz vor Klimawirkungen realisieren lassen. Um Schäden an *Sachvermögen und Infrastruktur* zu vermeiden sind verschiedene vorsorgende und nachrüstende Maßnahmen möglich. Diese reichen von der veränderten Auslegung exponierter Gebäude- und Infrastrukturtteile (Dachkonstruktion, Fundament), dem Bau von Schutzvorrichtungen für Sachgegenstände (Garagen, Remisen), bis zur Nachrüstung von Schutzvorrichtungen (z.B. mobile Hochwasserschutzdämme, Sturmschutz). Um die *Versorgungssicherheit* zu erhöhen, kann zu Gunsten von Lagerhaltung auf *just-in-time* Produktion verzichtet werden. Dies erfordert den Bau von Lagerstätten, z.B. Reservoirs und Speichern

(Easterling et al., 2004, S. 19). Schließlich können, um der Verringerung der *Produktivität* von Maschinen und Arbeitern und Anlagen vorzubeugen, Arbeitsstätten klimatisiert werden. Die Installation von Klimaanlage und Isolation sind dabei mögliche nachsorgende, die Berücksichtigung der thermischen Gegebenheiten beim Bau von Gebäuden vorsorgende Maßnahmen (BMBF, 2004, S. 23, 24). Zudem können neue Technologien wie Sonnenstrahlung reflektierende Dachdeckung oder solare Kühlung genutzt werden, welche nicht nur dem Anpassungsziel gerecht werden, sondern auch den Ausstoß von Treibhausgasen vermeiden.

Auch für die spezifischen Anpassungsprobleme in den verschiedenen *Wirtschaftssektoren* existiert bereits heute eine Vielzahl von Lösungen. Die *Forstwirtschaft* ist dabei eine Ausnahme, da hier nur wenige technologische und bauliche Möglichkeiten zur Minderung von Klimawirkungen bestehen. Hier sind es vor allem Innovationen im Waldmanagement, die eine Anpassung bewirken können (BMBF, 2004, S. 26). Hingegen bieten sich in der *Landwirtschaft* mehrere Anpassungsoptionen. Zwar wird auch hier ein Teil der Anpassung in der Erprobung neuer Methoden liegen, wie z.B. der Verlegung der Aussaattermine oder der Wahl anderer Sorten. Doch bieten sich auch technologische und bauliche Lösungen an. Der Wasserknappheit kann durch Maßnahmen wie Bewässerungssysteme, Reservoirs und Anlagen zur Regenwassernutzung (*grey water harvesting*) entgegengewirkt werden. Ernteerträge lassen sich zudem gegen Extremwetterlagen schützen, etwa durch die Verwendung von Hagelschutznetzen im Obstanbau. Zudem wird bei der Sortenwahl in Zukunft vermehrt auf Kälte- bzw. Hitzeresistenz sowie der Standfestigkeit geachtet werden müssen.

Die *Wasserwirtschaft* wird auf zunehmende Trockenheit in vielen Regionen mit dem Bau von Reservoirs reagieren müssen. Gerade in Ländern, die unter starkem Wassermangel leiden, sind zudem Wiederaufbereitungsanlagen und Maßnahmen zur Vermeidung der Wasservergeudung weitere Optionen. Dem Problem der Überlastung von Abwassersystemen und Rückhaltebecken bei Extremniederschlägen kann mit der baulichen Erweiterung begegnet werden (Zebisch et al., 2005, S. 61, Berkhout et al., 2004, S. 21).

Die *Energiewirtschaft* ist von ähnlichen Problemen wie die Wasserwirtschaft betroffen, kann sich aber auch durch bauliche und technologische Maßnahmen anpassen. Der Mangel an Kühlwasser bei steigenden Sommertemperaturen wird Investitionen in alternative Kühlsysteme (z.B. Trockenkühltürme, solare Klimatisierung) notwendig machen. Die Belastung des Leitungsnetzes durch stärkere Wetterextreme setzt zudem Netzbetreiber, vor allem in Ländern mit starkem Anteil von Freileitungen, unter Anpassungsdruck. Hier bieten sich die Verlagerung auf unterirdische Kabel und Investitionen in stärker belastbare Überlandleitungen an (Ackerman und Stanton, 2006, S. 16).

Für die *Transportwirtschaft* ergeben sich einerseits Probleme durch Temperaturen über der Toleranzgrenze für Personal, Fahrgäste und Gütern in Hitzesommern. Die Klimatisierung von Fahrzeugen wird deshalb in Sommermonaten vielfach unumgänglich werden. Zum andern werden, gerade bei Schienen- und Straßennetzbetreibern, Investitionen in wetterresistentere Infrastruktur nötig sein, um Verkehrsunterbrechungen zu vermeiden und die Kosten für nachsorgende Reparaturen zu senken (Warren, 2004, S. 136 ff.).

Schließlich gibt es eine Reihe technologischer und baulicher Anpassungsmaßnahmen für *andere klimasensible Bereiche*. Bauliche Maßnahmen großen Ausmaßes werden in Zukunft beim Hochwasserschutz nötig sein. Hochwassergefährdete *Flussgebiete* werden mit verschiedenen Maßnahmen wie dem Bau von Deichen und Dämmen und dem Anlegen von Überflutungsgebieten reagieren. Ebenso sind in *Küstengebieten* Deicherhöhungen unumgänglich. In *Ballungsräumen* schließlich können durch Ausweitung von Grünflächen (z.B. durch Dachbegrünung) Temperaturen gemildert und das Potential zum Wasserrückhalt gesteigert werden. Solche Maßnahmen mildern die Auswirkungen von Extremtemperaturen und -niederschlägen (Stern, 2006, S. 417).

Ähnlich wie im Bereich Forstwirtschaft ist das Spektrum technologischer Anpassungsmöglichkeiten im Bereich *ökologischer Systeme* begrenzt. Ökologische Systeme sind häufig räumlich sehr ausgedehnt und bilden ein komplexes System von Wirkungen und Wechselwirkungen. Die zielgerichtete technologische Beeinflussung von Parametern wie der *Wasserqualität* ist daher schwierig. Teilweise sind allerdings bauliche Maßnahmen möglich, etwa zum Erhalt der *Biodiversität*. Hier kann das Anlegen von Korridoren zwischen getrennten Biotopen die Anpassung an den Klimawandel von Tieren und Pflanzen fördern. Eine Vielzahl von Anpassungsmaßnahmen ergibt sich dagegen im Bereich *Wohlfahrtsindikatoren*. Um gesundheitliche, aber auch ökonomische Belastungen zu mindern, können beispielsweise Informationstechnik nutzende Frühwarnsysteme zur Katastrophenvorsorge genutzt werden. Viele der oben genannten baulichen und technologischen Maßnahmen können zudem dazu beitragen, Klimastress von Personen abzuwenden und somit *Gesundheit* und *Lebensqualität* zuträglich sein (Zebisch et al., 2005).

Die hier aufgeführten Anpassungsmöglichkeiten zeigen, dass Unternehmen aus den Bereichen Bauwirtschaft, Gebäude- und Installationstechnik, aber auch der Informationstechnik vielfältige Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel anbieten können. Aber auch andere Unternehmen, wie z.B. Dienstleister können die Nachfrage nach Anpassungsmaßnahmen bedienen. Die Folgen des Klimawandels und die notwendige private und gesellschaftliche Anpassung daran stellen daher Chancen für diese Unternehmen dar. Für deutsche Unternehmen eröffnen sich zudem Exportmärkte in Ländern, die in besonderer Weise vom Klimawandel betroffen sind. Die zunehmende Nachfrage nach Kühltechnik in südasiatischen Ländern ist hier ein Beispiel, der Bedarf an Entsalzungsanlagen in Entwicklungsländern ein weiteres. Der weiter fortschreitende Klimawandel wird die Nachfrage nach Anpassungsmaßnahmen zudem erhöhen. Dies

wird auch Anreize schaffen, Innovationen marktfähig zu machen, so z.B. solche Maßnahmen, die auch unabhängig von ihrer Schutzwirkung ökonomisch effizient sind (Firth et al., 2005, S. 44, 68; BMBF, 2004, S. 24).

4.2 Heutige Nachfrage nach Anpassungsmaßnahmen

Anpassungsmaßnahmen werden heute in erster Linie von staatlichen Institutionen nachgefragt, eine signifikante Nachfrage privater Akteure ist noch nicht festgestellt worden. Die in Abschnitt I dargestellten Hemmnisse proaktiver Anpassung für private Akteure dürften Gründe dafür sein, ebenso wie die in Abschnitt II erläuterten Probleme bei der statistischen Erhebung. Chancen für Unternehmen liegen daher heute vor allem in staatlichen Programmen zur Anpassung an den Klimawandel, von denen immer mehr in Industrie- und Entwicklungsländern ins Leben gerufen werden. Sowohl in den Mitgliedsstaaten der Europäischen Union, die Aufträge nach EU-Recht in der gesamten Union ausschreiben müssen, als auch in Entwicklungsländern, wo im Rahmen der Entwicklungszusammenarbeit Anpassungsfonds internationaler Organisationen genutzt werden können, ergeben sich Möglichkeiten für deutsche Unternehmen, die Anpassungsunterstützung bereit stellen können.

Der Schwerpunkt der Anpassungsbemühungen staatlicher Institutionen in Europa und anderer OECD-Länder liegt derzeit zwar noch bei der Vorbereitung von Anpassungsmaßnahmen (z.B. Information von Akteuren, Feststellung sensibler Bereiche, *capacity building*), allerdings besteht bereits eine Reihe von Anpassungsprojekten, die in die Implementierungsphase übergegangen sind (Gagnon-Lebrun, 2006). Ein Beispiel bereits heute mit Hinblick auf den Klimawandel durchgeführter großer Infrastrukturprojekte ist die Erneuerung des Hochwasserschutzes in Venedig, an dessen Durchführung die deutsche ThyssenKrupp GfT Bauwirtschaft beteiligt ist (ThyssenKrupp, 2006). Auch auf regionaler und Städteebene werden Maßnahmen zur Anpassung an den Klimawandel bereits durchgeführt. Hochwasserschutzmaßnahmen in Bayern und Baden-Württemberg berücksichtigen bereits heute zukünftige Auswirkungen des Klimawandels (Hornemann und Rechenberg, 2006, S. 42), Städte wie Basel und Stuttgart passen sich an die Gefahren städtischer Überhitzung, z.B. durch Projekte zur Dachbegrünung oder Infrastruktur- und Stadtplanung (LCCP, 2005, S. 15–18; Kress, 2006).

Internationale Organisationen unterstützen zudem die Anpassungsmaßnahmen in Entwicklungsländern. Die Weltbank und die Vereinten Nationen (UN) haben in den letzten Jahren zu diesem Zweck Fonds ins Leben gerufen oder sind im Begriff, dies zu tun. So wird die Weltbank in den nächsten Jahren voraussichtlich US\$ 150–300 Millionen jährlich zu verschiedenen Anpassungsfonds beisteuern. Die UN unterhält mehrere Fonds: den Anpassungsfonds des Kyoto-Protokolls, mit voraussichtlich US\$ 200–300 Millionen bis 2012; den LDCF (*Least Developed Countries Fund*) mit bisher

US\$ 115 Millionen; und den SCCF (*Special Climate Change Fund*) mit bisher US\$ 50 Millionen (Stern, 2006, S. 556–558; GEF, 2006). Diese Fonds sollen Entwicklungsländern unter anderem bei Anpassungsmaßnahmen, auch technologischer und baulicher Art, unterstützen. Im Rahmen der Entwicklungszusammenarbeit können sich dadurch Chancen für Unternehmen bei der Durchführung von Anpassungsprojekten ergeben (s.a. Ott, 2007 2, S. 33).

Für die Anpassung privater Akteure, d.h. von Unternehmen und Haushalten, liegen nur wenige Beispiele vor. Ein solches ist die proaktive Anpassung des britischen Unternehmens Thames Water, das bereits heute Maßnahmen zum Ausbau von Entwässerung durchführen lässt und eine Entsalzungsanlage plant (Tompkins et al., 2005, S. 49). Ein anderes Beispiel ist die reaktive Anpassung von Haushalten in von Hochwasser betroffenen Regionen. Nach den Hochwassern an Rhein und Elbe im Jahr 2002 wurde eine erhöhte Nachfrage nach Anpassungsmaßnahmen festgestellt (Grothmann, 2005, S. 137 ff.). In Zukunft wird der Anpassungsdruck für Haushalte und Unternehmen zweifellos weiter zunehmen, nicht nur durch steigende Schadenskosten, sondern auch über Einpreisung des Klimarisikos in Versicherungspolicen. Dies wird dazu führen, dass auch private Akteure das sich verändernde Klima in ihre Präferenzen und Strategien einfließen lassen, und stärker technologische und bauliche Anpassungsmaßnahmen nachfragen (Firth und Colley, 2006, S. 2).

Schlussfolgerungen

Der Klimawandel stellt neue Anforderungen an alle gesellschaftlichen Akteure. Neben der Vermeidung von Treibhausgasen wird die Anpassung an die nicht vermeidbaren Folgen des Klimawandels eine immer wichtigere Aufgabe, um eine zukunftsfähige Entwicklung von Wirtschaft und Gesellschaften zu gewährleisten. Ohne aktive Anpassungsmaßnahmen kann die zunehmende Intensität des Klimawandels verheerende Schäden in klimasensiblen Bereichen von Industrie- und Entwicklungsländern bewirken. Ein großer Teil der Anpassung wird in der Anwendung technologischer und baulicher Maßnahmen liegen. Unternehmen, die Anpassungsmaßnahmen anbieten, können einen Beitrag dazu leisten, wirtschaftliche, gesellschaftliche und ökologische Werte vor Klimawirkungen zu schützen, und somit Anpassung als Geschäftsfeld zu nutzen.

Die Nachfrage nach Anpassungsmaßnahmen wird mit steigender Intensität der Auswirkungen des Klimawandels zunehmen. So schaffen öffentliche Institutionen und internationale Organisationen schon heute eine wachsende Nachfrage nach technologischer und baulicher Anpassung. Aber auch der Bedarf von Unternehmen und Haushalten in klimasensiblen Bereichen wird durch steigenden Schadensdruck und Einpreisung des Klimarisikos durch den Markt zunehmen. Dadurch werden sich weitere Chancen auf neue und wachsende Absatzmärkte für Anpassungsmaßnahmen im In- und Ausland ergeben. Ebenso werden sich auch die Anreize erhöhen, Innovationen marktfähig zu machen. So leisten Unternehmen, welche Anpassungsmaßnahmen entwickeln und anbieten, einen wichtigen Beitrag zur Bewältigung des Klimawandels in Deutschland, Europa und den Entwicklungsländern.

Der Klimawandel ist auch in Deutschland nicht mehr aufzuhalten. Daher stellt er eine Herausforderung an das Design und die Auslegung zahlreicher Produkte, Technologien und vor allem Infrastrukturen. Während vor allem letztere in der Vergangenheit für das typische oder mittlere Klima ausgelegt wurden, müssen sie jetzt sich ändernden klimatischen Randbedingungen genügen. In dieser neuartigen Herausforderung liegen nicht nur Gefahren, sondern auch Chancen. Ein entsprechendes adaptives Design wird ein wichtiges Qualitätskriterium in vielen Bereichen werden. Unternehmen, die hier ihre Produkte und Dienstleistungen rechtzeitig prüfen und anpassungsfähig gestalten, werden damit auch Marktchancen erwerben und sich vor Mitbewerbern platzieren können. Besonders attraktiv werden solche Lösungen sein, die sowohl die Herausforderungen der Anpassung als auch die der Emissionsminderung miteinander vereinbaren. Dies wären z.B. Gebäude mit passiver Wärme- und Kühltechnologie, die niedrige Energieumsätze aufweisen und gleichzeitig gegen künftige Wetterextreme gewappnet sind. Der Erfolg bei der Anpassung der eigenen Produkte an diese künftigen Herausforderungen sowie bei der Gestaltung neuer Produkte wird maßgeblich über die künftigen Marktchancen von Unternehmen in Deutschland und darüber hinaus entscheiden.

Literatur

- Ackerman, F. & Stanton, B. (2006). Climate Change – The Cost of Inaction. Friends of the Earth. Abgerufen am 21.10.06, URL: www.foe.co.uk/resource/reports/econ_costs_cc.pdf.
- Adger, W.N. et al. (2005). Successful Adaptation to Climate Change Across Scales. In: *Global Environmental Change*, 15, 77–86.
- Berkhout, F. (2003). How Can Business Adapt to Climate Change? Conference Summary. Abgerufen am 19.09.06, URL: www.tyndall.ac.uk/events/past_events/adapt.doc.
- Berkhout, F. et al. (2004). Business and Climate Change: Measuring and Enhancing Adaptive Capacity. Tyndall Centre. Abgerufen am 25.09.06, URL: www.tyndall.ac.uk/research/theme3/final_reports/it1_23.pdf.
- Berz, G. (2004). Klimawandel: Kleine Erwärmung – dramatische Folgen. In: *Wetterkatastrophen und Klimawandel*. Münchener Rück: München.
- Beuermann, G. et al. (2000). Zukünftige Modifikation regionaler Klimate und deren Berücksichtigung in Entscheidungsprozessen von Unternehmen. Abgerufen am 26.10.06. URL: www.uni-koeln.de/sfb419/c1/ergebnis/c1_0100.pdf.
- BMBF, Bundesministerium für Bildung und Forschung. (2004). Forschung für den Klimaschutz und Schutz vor Klimawirkungen. Bezogen am 15.09.06, URL: www.bmbf.de/pub/forschung_fuer_den_klimaschutz_schutz_vor_klimawirkung.pdf.
- Easterling, W.E. et al. (2004). Coping With Global Climate Change. The Role of Adaptation in the United States. Pew Center. Abgerufen am 06.10.06, URL: <http://www.pewclimate.org/docUploads/Adaptation.pdf>.
- Firth, J. et al. (2005). *Financial Risk of Climate Change. Technical Annexes*. Association of British Insurers. Abgerufen am 12.10.06, URL: http://www.abi.org.uk/Display/File/Child/506/Technical_Annexes_climatetechnical.pdf.
- Firth, J. & Colley, M. (2006). The Adaptation Tipping Point – Are UK Businesses Climate Proof? Acclimatise and UKCIP, Oxford. Abgerufen am 12.11.06, URL: http://www.cdproject.net/download.asp?file=CDP4_FTSE350_Adaptation_Report.pdf.
- Gagnon-Lebrun, F. & Agrawala, S. (2006). *Progress on adaptation in developed countries. An analysis of broad trends*. OECD. Abgerufen am 27.10.06, URL: <http://www.oecd.org/dataoecd/49/18/37178873.pdf>.
- Gambarelli, G. & Gorla, A. (2004). Economic Evaluation of Climate Change Impacts and Adaptation in Italy. Fondazione Eni Enrico Mattei. Abgerufen am 30.09.06, URL: http://www.feem.it/NR/rdonlyres/A04987D3-F5BE-46DA-AB14-C55D512_8B819/1256/10306.pdf.
- GEF, Global Environment Facility (2006). Frequently Asked Questions on GEF's Work on Adaptation. Abgerufen am 10.12.06, URL: www.gefweb.org/projects/Focal_Areas/climate/documents/adaptationFAQs.pdf.
- Grothmann, T. (2005). Klimawandel, Wetterextreme und private Schadensvorsorge. Abgerufen am 12.10.06, URL: http://deposit.ddb.de/cgi-bin/dokserv?idn=978782518&dok_var=d1&dok_ext=pdf&filename=978782518.pdf.

- HL, House of Lords (2005). The economics of climate change. Abgerufen am 27.10.06, URL: <http://www.publications.parliament.uk/pa/ld200506/ldselect/ldeconaf/12/12i.pdf>.
- Hornemann, C. & Rechenberg, J. (2006). Was Sie über vorsorgenden Hochwasserschutz wissen sollten. Umweltbundesamt. Abgerufen am 29.11.06, URL: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3019.pdf>.
- IPCC, Intergovernmental Panel on Climate Change (2001). *Third Assessment Report. Climate Change 2001*. Abgerufen am 19.09.2006, URL: www.ipcc.ch.
- Jorgenson, D.W. et al. (2004). U.S. market consequences of global climate change. Abgerufen am 11.11.06, URL: www.epa.gov/highwp/electricpower-sf6/pdf/dec04/strachan.pdf.
- Kress, A. (2006). Maßnahmen zur Anpassung und Vermeidung – ein integrierter Ansatz. Abgerufen am 03.12.06, URL: http://www.amica-climate.net/fileadmin/amica/inhalte/dokumente/AMICA_UBA_Vortrag_final_dt.pdf
- Larsen, J. (2006). Setting the Record Straight: More Than 52.000 People Died from Heat in Summer 2003. Earth Policy Institute. Abgerufen am 20.12.06, URL: <http://www.earth-policy.org/Updates/2006/Update56.htm>.
- LCCP, London Climate Change Partnership (2006). Adapting to Climate Change: Lessons for London. Greater London Authority, London. Abgerufen am 02.10.06, URL: www.london.gov.uk/climatechangepartnership/docs/adapting-climate-change-london.pdf.
- Münchener Rück (2006). *Jahresrückblick Naturkatastrophen 2005*. Münchener Rück: München.
- Oberthür, S. & Ott, H. E. (2000). Das Kyoto-Protokoll. Internationale Klimapolitik für das 21. Jahrhundert. Opladen: Leske & Budrich.
- Ott, H. E. (2007 1). Internationale Klimapolitik 2020. Herausforderung für die deutsche (Umwelt-) Außenpolitik. Reihe „Kompass 2020“, Friedrich-Ebert-Stiftung (Berlin), Juli 2007; <http://library.fes.de/pdf-files/iez/04691.pdf>.
- Ott, H. E. (2007 2). Climate Policy Post-2012 – A Roadmap. The Global Governance of Climate Change; Discussion paper for the Tällberg Foundation (Stockholm), June 2007; http://www.wupperinst.org/uploads/tx_wibeitrag/Ott_Taellberg_Post-2012.pdf.
- PLANAT, Plattform Naturgefahren (2006). Klimawandel und Naturgefahren. Abgerufen am 12.12.06, URL: www.planat.ch/index.php?userhash=21156397&nav=4,476,476,476&l=d.
- Scheraga, J. D. (1998). Risk, opportunities and adaptation to climate change. In: *Climate Research*, 10, S. 85–95.
- Smith, J.B. (2003). Conceptual basis for adaptation technologies. Abgerufen am 12.11.06, URL: <http://www.resourcesaver.com/file/toolmanager/O105UF1355.pdf>.
- Stern, N. (2006). *The economics of climate change: the Stern review*. Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Stock, M. (2003). Chancen und Risiken von Regionen im Klimawandel: Welche Strategien kann die Wissenschaft ableiten. Abgerufen am 28.09.06, URL: www.pik-potsdam.de/~stock/paper/ar1_ak_ia3_stock.pdf.
- ThyssenKrupp (2006). Codename: MOSE – Venedig darf nicht untergehen. Abgerufen am 28.12.06, URL: www.thyssenkruppservices.de/tk_inside/article.php?article_id=18&WYSESSID=2c2js92n40mbf5lu40ue71oi80.
- Tompkins, E. L. et al. (2005). Linking adaptation research and practice. Abgerufen am 05.12.06, URL: www.defra.gov.uk/science/project_data/DocumentLibrary/GA01077/GA01077_2664_FRP.pdf.

- UNEP FI (2006). Adaptation and Vulnerability to Climate Change: The Role of the Financial Sector. Abgerufen am 05.12.06, URL: www.unepfi.org/fileadmin/documents/CEO_briefing_adaptation_vulnerability_2006.pdf
- Viner, D. (2006). Climate Change and the European Countryside: Impacts on Land Management and Response Strategies. Abgerufen am 05.11.06, URL: www.cru.uea.ac.uk/link/new_link/cliio/CLIO_Main.html.
- Warren, F.J. (2004). Climate Change Impacts and Adaptation: A Canadian Perspective. Abgerufen am 12.11.06, URL: www.espp.msu.edu/climatechange/canadaadaptation.pdf.
- WB, World Bank and International Monetary Fund (2006). Clean Energy and Development: Towards an Investment Framework. Abgerufen am 23.10.06, URL: [http://siteresources.worldbank.org/DEVCOMMINT/Documentation/20890696/DC2006-0002\(E\)-CleanEnergy.pdf](http://siteresources.worldbank.org/DEVCOMMINT/Documentation/20890696/DC2006-0002(E)-CleanEnergy.pdf).
- Zebisch, M. et al. (2005). Klimawandel in Deutschland. Vulnerabilität und Anpassungsstrategien klimasensitiver Systeme. Umweltbundesamt. Abgerufen am 13.09.06, URL: <http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-k/2947.pdf>.